



JURNAL BIOTEKNOLOGI & BIOSAINS INDONESIA

Homepage Jurnal: <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JBBI>



FITOREMEDIASI AIR LIMBAH LABORATORIUM ANALITIK UNIVERSITAS JEMBER DENGAN PEMANFAATAN TANAMAN ECENG GONDOK DAN LEMBANG

Phytoremediation of Analytical Laboratory of Jember University Waste Water by The Use of Water Hyacinth and Cattail Plants

Elida Novita¹, Sri Wahyuningsih¹, Dwi Andriana Na'imatul Jannah¹,
Hendra Andiananta Pradana^{2*}

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember

²Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian, Pascasarjana, Universitas Jember

*Email: hendraandianantapradana@gmail.com

ABSTRACT

Analytical laboratory waste water at Jember University has organic and inorganic materials which can be categorized as biodegradable or non-biodegradable wastes. This study focused on comparing the ability between water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and cattail (*Typha angustifolia*) plant in reducing the pollutants as a consideration in selecting plants for waste water treatment at Jember University. The stages in this research consisted of filtration using silica sand, adsorption using activated carbon and zeolites, and phytoremediation using water hyacinth and cattail plants. The phytoremediation treatment was carried out during 14 days with a density of 40 g L⁻¹. Cattail plant treatment had a higher value of pollutant reduction efficiency in waste water compared to water hyacinth. The reduction efficiency parameters, namely turbidity, TSS, BOD, COD, and Cr, were 92.18, 84, 74, 64, and 49%, respectively. The results of this study provide an alternative treatment for laboratory waste water which has an environmentally friendly character at Jember University.

Keywords: Chromium (Cr), *Eichhornia crassipes*, filtration and adsorption, *Typha angustifolia*, water quality

ABSTRAK

Air limbah laboratorium analitik di Universitas Jember mengandung bahan organik dan anorganik yang bersifat mudah diuraikan maupun toksik. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kemampuan reduksi polutan oleh eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan lembang (*Typha angustifolia*) sebagai pertimbangan pemilihan tanaman untuk menangani air limbah laboratorium di lingkungan Universitas Jember. Tahapan penelitian terdiri atas filtrasi menggunakan pasir silika, adsorpsi menggunakan karbon aktif dan zeolit, serta fitoremediasi menggunakan eceng gondok dan lembang. Waktu tanaman eceng gondok dan lembang diinkubasi menggunakan teknik fitoremediasi selama 14 hari dengan densitas 40 g L⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penanganan air limbah menggunakan lembang memiliki nilai efisiensi reduksi polutan pada air limbah lebih tinggi daripada eceng gondok. Nilai efisiensi reduksi tersebut berupa parameter kekeruhan, TSS, BOD, COD, dan Cr secara berurutan sebesar 92,18, 84, 74, 64, dan 49%. Hasil penelitian ini menjadi alternatif penanganan air limbah laboratorium yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: *Eichhornia crassipes*, filtrasi dan adsorpsi, kromium (Cr), kualitas air, *Typha angustifolia*

PENDAHULUAN

Limbah dari aktivitas laboratorium analitik sebagian besar mengandung logam berat dan bahan organik yang diindikasikan oleh nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Sumber bahan pencemar tersebut terutama berasal dari bahan kimia untuk pengujian dan bahan uji. Djo et al. (2017) dan Nurhayati et al. (2018), menjabarkan bahwa hasil pemeriksaan nilai Cr pada air limbah laboratorium analitik di Universitas Udayana dan Unipa Surabaya secara berurutan sebesar $2,58 \text{ mg L}^{-1}$ dan $82,35 \text{ mg L}^{-1}$. Sementara itu, Audiana et al. (2017), menunjukkan bahwa air limbah dari Laborarium Lingkungan Universitas Tanjungpura mengandung COD dan Fe secara berurutan sebesar $611,4 \text{ mg L}^{-1}$ dan $19,4 \text{ mg L}^{-1}$. Beberapa hasil kajian tersebut merepresentasikan bahwa kondisi air limbah laboratorium analitik tersebut tidak memenuhi baku mutu air limbah yang berlaku. Adapun baku mutu tersebut pada parameter Cr, COD, dan Fe secara berurutan sebesar 1 mg L^{-1} , 300 mg L^{-1} , dan 5 mg L^{-1} berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Kondisi ini cenderung terjadi di Universitas Jember.

Universitas Jember memiliki beberapa laboratorium analitik yang menghasilkan air limbah. Novita et al. (2019a) melaporkan bahwa air limbah dari Laboratorium Analitik di Fakultas Teknologi Pertanian dan Farmasi memiliki nilai BOD dan COD secara berurutan sebesar $84,18 \text{ mg L}^{-1}$ dan $251,60 \text{ mg L}^{-1}$. Hasil pemeriksaan kondisi pH dari limbah tersebut menunjukkan nilai pH sebesar 4 sehingga cenderung bersifat asam. Air limbah tersebut tidak memenuhi baku mutu Permen LH Nomor 5 Tahun 2014. Di sisi lain, potensi paparan logam berat dari air limbah di lingkungan Universitas Jember akan tetap ada. Selama ini penanganan air limbah ditempuh dengan peresapan ke dalam tanah, bahkan ada air limbah yang langsung dialirkan ke drainase (Novita et al. 2019a). Oleh sebab itu, diperlukan upaya penanganan air limbah yang komprehensif dalam mendukung terwujudnya misi *Green Campus* dan Kampus Berwawasan Lingkungan di Universitas Jember. Disisi lain, metode penanganan ini merupakan bagian dari upaya penjagaan lingkungan di sekitar

Universitas Jember yang berfungsi sebagai hutan kota di Kabupaten Jember.

Upaya penanganan air limbah yang bersifat komprehensif ini tentunya juga harus mempertimbangkan karakteristiknya. Kombinasi penanganan air limbah dilaporkan mampu meningkatkan reduksi polutan lebih efektif dibandingkan penanganan tunggal (Jaiyeola dan Bhwapwa 2016; De Anda et al. 2018). Sejalan dengan hal tersebut Crini dan Lichtfouse (2019), menjelaskan bahwa kombinasi pengolahan dengan metode fisika, kimia, dan biologi dilaporkan mampu mereduksi bahan pencemar yang larut dan tidak larut pada air limbah. Beberapa media untuk penanganan dengan metode fisika dan kimia serta bersifat mudah didapatkan yaitu pasir silika, karbon aktif, dan zeolit. Menurut Sulistyanti et al. (2018) penanganan air limbah laboratorium kimia dengan cara filtrasi dan adsorpsi menggunakan ijuk, pasir, arang aktif, zeolit, dan batu kerikil, dapat menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS (*Total Suspended Solid*) secara berurutan sebesar 67,41%, 85%, dan 94,99%. Adapun kombinasi pengolahan air limbah dengan filtrasi dan fitoremediasi memiliki nilai efisiensi Cr, Cd, BOD, COD, dan TSS secara berurutan sebesar 29,41%, 83,07%, 59,84%, 91,32%, dan 60,61% (Santoso et al. 2014). Tanaman air memiliki potensi yang cukup baik dalam menyerap bahan organik dan logam berat yang terdapat pada badan air. Tanaman ini berfungsi sebagai media untuk memindahkan logam berat yang terdapat pada air limbah ke dalam organ tubuhnya (Safarrida et al. 2015).

Tumbuhan air memiliki kemampuan hiperakumulator sebagai mekanisme suplai akan nutrisi organik, anorganik, dan logam berat dari air limbah pada media tumbuhnya (Safarrida et al. 2015; Bais et al. 2016). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan lembang (*Typha angustifolia*) merupakan tanaman air yang mampu memperbaiki kualitas air limbah dan bersifat hiperakumulator (Santoso et al. 2014; Bais et al. 2016; Novita et al. 2019a). Merujuk pada penelitian Novita et al. (2019b), eceng gondok mempunyai kemampuan untuk menurunkan nilai COD dan BOD pada air limbah pengolahan kedelai secara berurutan sebesar 59,11% dan 77,91%. Adapun kemampuan lembang dalam mereduksi BOD dan COD pada limbah pabrik kelapa sawit secara berurutan sebesar 41% dan 97%.

Tanaman eceng gondok dan lembang mampu mengurangi kadar logam berat pada air limbah seperti Cr hingga level tertentu. Reduksi kandungan Cr pada air limbah industri pertambangan menggunakan metode fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok sebesar 99,5% (Saha et al. 2017). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa tanaman lembang mampu menurunkan kandungan Cr pada air limbah lumpur penyamakan sebesar 38% (Bareen dan Khilji 2008). Tentunya, tanaman eceng gondok dan lembang mempunyai kemampuan yang beragam dalam menyerap bahan organik dan logam berat dari suatu air limbah. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan komparasi kemampuan reduksi polutan antara tanaman eceng gondok (*E. crassipes*) dan lembang (*T. angustifolia*) sebagai bahan pertimbangan pemilihan tanaman untuk menangani air limbah dari laboratorium di lingkungan Universitas Jember. Penggunaan tanaman untuk penanganan air limbah ini, diharapkan dapat menambah estetika dan pen jagaan fungsi ruang terbuka hijau di sekitar Universitas Jember.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini bertempat di *Green House* dan Laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian. Waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai pada bulan September–Oktober 2019.

Bahan penelitian

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Analitik Fakultas Teknologi Pertanian. Tanaman air yang digunakan meliputi eceng gondok dan lembang dengan berat masing-masing 400 g pada setiap bak penampung dengan 3 kali ulangan. Panjang akar eceng gondok 30 cm. Penentuan panjang akar 30 cm ini dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safrizal (2016) dan Manasika (2015), yang menyatakan bahwa perlakuan panjang akar 30 cm dengan berat eceng gondok yang sama, memiliki keseluruhan nilai persentase penurunan tertinggi terhadap reduksi bahan organik. Sementara itu tanaman lembang dipilih yang memiliki tinggi 100 – 150 cm (Elystia et al. 2014). Bahan kimia yang digunakan untuk pengujian parameter air limbah yaitu reagen COD HR

(*High Range*), aquadest, indikator amilum, NaOH 50%, larutan MnSO₄ 36,4%, larutan H₂SO₄ pekat, larutan Tiosulfat 0,025 N, dan larutan alkali iodida azida 66%.

Penanganan secara fisika, kimia, dan biologi

Air limbah yang sudah ditampung, kemudian diuji karakteristik awal untuk kemudian dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Sebelum dilakukan proses penanganan dengan metode fitoremediasi, dilakukan proses filtrasi dan adsorpsi pada air limbah sebagai tahapan *pre-treatment* dengan menggunakan 3 media seperti pasir silika dengan tinggi 10 cm, serta karbon aktif, dan zeolit masing-masing setinggi 24 cm. Pasir silika berfungsi untuk menghilangkan kandungan lumpur atau tanah, kandungan Fe, dan bakteri pada air (Daulay et al. 2019). Sementara itu, fungsi karbon aktif adalah sebagai media penjerap (adsorben), penghilang warna dan bau, serta penjernihan air (Emelda et al. 2013; Christiany et al. 2018). Menurut Atmono et al. (2017), adsorben merupakan zat yang melakukan penyerapan terhadap zat lain (baik cairan maupun gas) pada tahapan adsorpsi.

Reaktor untuk filtrasi pada penelitian ini berukuran 74 × 30 × 30 cm. Prinsip kerja reaktor filtrasi adalah limbah dialirkan dari bak penampung menggunakan kran dengan debit sebesar 18,2 mL s⁻¹. Pada tahapan ini limbah dialirkan dari bagian atas ke bawah (*in flow*). Kemudian limbah akan masuk ke zona *inlet* yang berisi karbon aktif dengan aliran dari bawah ke atas (*upflow*). Setelah itu, limbah masuk ke zona pengendapan yang berisi pasir silika dengan aliran limbah secara *inflow*. Air limbah akan mengalir ke zona *outlet* yang berisi zeolit. Hasil dari filtrasi ini kemudian diukur parameter kualitas air limbahnya seperti kekeruhan, pH, TSS, dan TDS (*Total Dissolved Solid*). Pengukuran ini dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan penanganan filtrasi dan adsorpsi sebagai *pre-treatment* dalam reduksi bahan pencemar. Aliran air limbah pada pengolahan limbah dengan metode filtrasi dan adsorpsi ini dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan fitoremediasi selanjutnya

dilakukan dengan menempatkan tanaman air pada air limbah yang udah ditampung pada reaktor sebagai media tumbuhnya.

Fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok berkode (E) dan lembang berkode (T) dengan berat 400 gram, dan tanpa menggunakan tanaman sebagai kontrol berkode (K). Ketiga perlakuan diletakkan pada reaktor fitoremediasi dengan volume air limbah sebesar 10 liter pada setiap reaktor. Pengulangan pada setiap perlakuan dilakukan sejumlah 3 kali. Semua perlakuan ditambahkan alat aerator. Penambahan kadar oksigen melalui proses aerasi perlu dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan oksigen terlarut yang ada di dalam cairan limbah sehingga kebutuhan oksigen terlarut oleh mikroorganisme bisa terpenuhi dalam proses reaksi biokimia (Novita et al. 2019a). Ukuran reaktor fitoremediasi untuk eceng gondok yaitu 40 × 15 × 25 cm, sedangkan untuk tanaman lembang dengan tinggi 50 cm dan diameter 28 cm. Proses fitoremediasi ini dilakukan dengan menggunakan metode *batch* yang merujuk pada prosedur penelitian yang dilakukan oleh Novita et al. (2018). Dalam teknik fitoremediasi ini, tanaman air ditumbuhkan pada air limbah selama 14 hari, dimana baik eceng gondok maupun lembang mempunyai kemampuan untuk dapat mereduksi logam berat pada air limbah pada masa inkubasi selama 2 minggu menggunakan teknik fitoremediasi (Djo et al. 2017).

Pengukuran karakteristik air limbah

Parameter COD diukur di awal dan akhir pada proses penanganan air limbah menggunakan metode spektrofotometri yang merujuk pada QI/LKA/19. Sampel air limbah dari laboratorium dimasukkan ke dalam reagen COD *High Range* (HR) dengan volume 0,2 mL. Selanjutnya reagen COD dipanaskan pada reaktor COD dengan suhu 150°C selama 2 jam. Kemudian reagen COD didinginkan dan diukur nilai COD-nya menggunakan spektrofotometer dengan beberapa ulangan pembacaan hingga nilainya konstan atau stabil.

Parameter BOD diukur di awal dan akhir pada pengolahan air limbah menggunakan metode tritiasi – Winkler yang merujuk pada APHA 5210 B – 1998 dengan persamaan (1) dan (2).

$$DO = \frac{a * N * 8000}{V - 4} \quad (1)$$

DO : *Dissolved Oxygen* (mg L⁻¹)

a : Normalitas natrium tiosulfat (mL)

V : Volume botol winkler (mL)

$$BOD = \frac{(DO_0 - DO_5) - (BO_0 - BO_5)(1 - P)}{P} \quad (2)$$

BOD : *Biochemical Oxygen Demand* (mg L⁻¹)

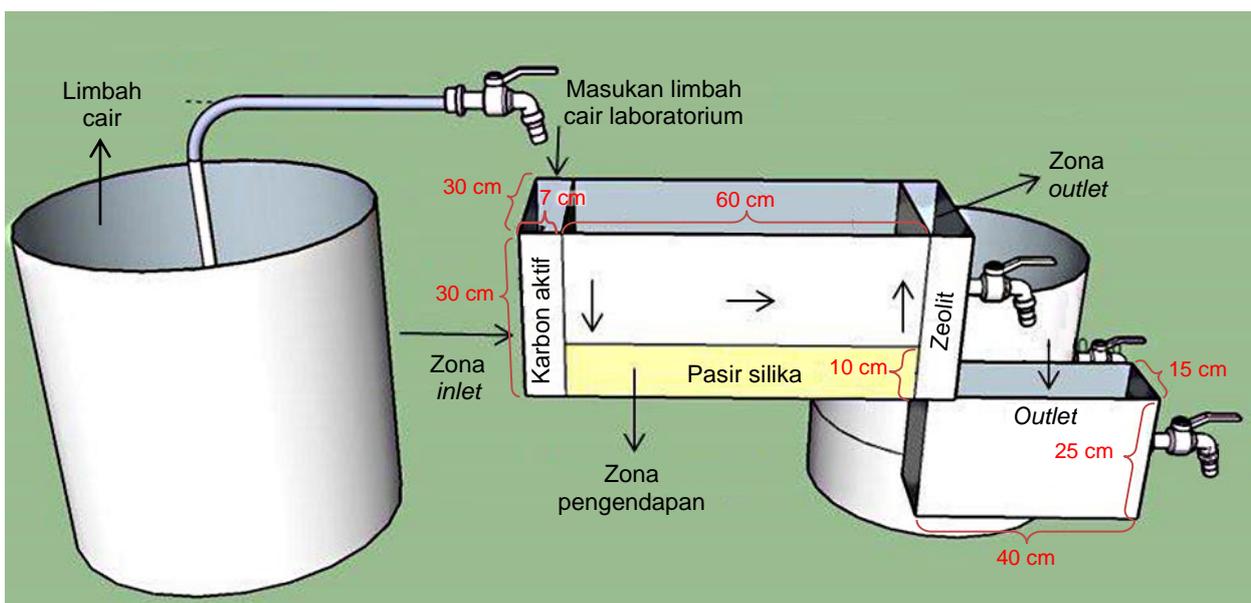
DO₀ : DO Sampel pada t=0 (mg O₂ L⁻¹)

DO₅ : DO Sampel pada saat t=5 hari (mg O₂ L⁻¹)

BO₀ : DO blanko pada saat t=0 (mg O₂ L⁻¹)

BO₅ : DO blanko pada saat t=5 hari (mg O₂ L⁻¹)

P : Derajat pengenceran



Gambar 1. Alur proses aliran air limbah laboratorium pada *pre-treatment* (filtrasi dan adsorpsi)

Parameter TSS diukur dengan interval setiap dua hari sekali selama 14 hari dengan menggunakan metode gravimetri yang merujuk pada APHA 2540D – 2005. Prosedur pengukurannya dilakukan dengan menggunakan sejumlah tahapan. Kertas saring dimasukkan ke dalam oven selama 1 jam dengan suhu 105°C, dan kemudian didinginkan dengan cara dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Kertas saring kemudian ditimbang berulang sampai mencapai berat yang konstan atau stabil. Selanjutnya sampel air limbah sebanyak 50 – 100 mL disaring dengan menggunakan kertas saring dan dibantu dengan pompa vakum sebagai penghisap. Selanjutnya kertas saring yang sudah digunakan untuk penyaringan dipanaskan dalam oven selama 1 jam pada suhu 105°C, dan setelahnya kertas saring didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Kertas saring kemudian ditimbang dan dihitung nilai TSS menggunakan persamaan (3).

$$TSS = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \quad (3)$$

- a : Berat kertas saring + residu kering (mg)
- b : Berat kertas saring (mg)
- c : Sampel (mL)
- TSS : Total padatan tersuspensi (mg L⁻¹)

Parameter TDS diukur pada interval dua harian selama 14 hari menggunakan metode gravimetri merujuk pada APHA 2540C–2005. Prosedur pengukurannya dilakukan melalui sejumlah tahapan. Cawan porselin dimasukkan dan dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam, dan kemudian didinginkan dengan cara dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Selanjutnya cawan porselin ditimbang berulang kali hingga mendapatkan berat yang konstan atau stabil. Setelah itu sampel sebanyak 50–100 mL dimasukkan ke dalam cawan porselin, dan dipanaskan dalam oven selama ±3 jam dengan suhu 105°C. Cawan porselin yang sudah kering kemudian didinginkan di dalam desikator, dan kemudian ditimbang lalu diukur nilai TDS dengan menggunakan persamaan (4).

$$TDS = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \quad (4)$$

- a : Berat cawan + residu kering (mg)
- b : Berat cawan (mg)
- c : Sampel (mL)
- TDS : *Total Suspended Solid* (mg L⁻¹)

Parameter pH diukur setiap hari selama 14 hari menggunakan metode elektrometrik merujuk pada QI/LKA/08. Alat dinyalakan dengan menghubungkan kabel listrik dan menekan tombol *on*, kemudian menekan tombol *call*. Selanjutnya alat pengukur pH dikalibrasi terlebih dahulu. Sampel sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam *glass beaker*, dan kemudian dilakukan pembacaan nilai pH dengan cara alat dicelupkan sampai ke dasar air limbah.

Parameter kekeruhan diukur setiap hari selama 14 hari menggunakan alat Turbidity meter TN-100 yang merujuk pada metode QI/LKA/11. Turbidimeter dinyalakan dengan menekan tombol *on*, untuk selanjutnya dikalibrasi terlebih dahulu, dengan cara memasukkan botol uji atau larutan standar berisi air yang telah diketahui nilai kekeruhannya pada alat penguji. Setelah itu sampel air limbah dimasukkan pada botol penguji dan kemudian dimasukkan ke turbidity meter. Selanjutnya tombol *read* ditekan untuk membaca nilainya dan ditunggu sampai nilainya konstan. Pembacaan dilakukan beberapa kali sampai nilainya stabil.

Parameter kromium (Total-Cr) diukur sebelum dan diakhir perlakuan fitoremediasi. Total-Cr diukur dengan menggunakan alat spektrofotometer serapan atom (SSA) yang merujuk pada metode APHA 3111B–2005. Sebanyak 10 mL larutan induk kromium dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL, dan kemudian diencerkan dengan larutan pengencer dan dihomogenisasi. Larutan standar kromium tersebut kemudian dipipet sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL. Pengenceran larutan standar kromium dilakukan dengan menggunakan air suling bebas ion yang diasamkan dengan asam nitrat pekat sampai nilai pH sebesar 2, kemudian diaduk hingga homogen. Larutan standar kromium 10 mg L⁻¹ sebanyak 0, 2, 5, 10, dan 15 mL dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan larutan pengencer serta dihomogenisasi. Setelah itu dilakukan pengukuran pada absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer serapan

atom pada λ (panjang gelombang) spesifik = 357,9 nm. Selanjutnya sampel sebanyak 100 mL diambil dan ditambahkan HNO_3 (p), selanjutnya dipanaskan sampai hampir kering dan setelahnya ditambahkan air suling bebas ion sebanyak 50 mL. Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL melalui kertas saring dan selanjutnya, diencerkan dengan air suling bebas ion, dihomogenisasi, dan dilakukan tes analisis dengan menggunakan SSA.

Metode analisis data

Analisis penurunan kandungan polutan air limbah Laboratorium FTP dilakukan dengan cara mengamati penurunan nilai parameter kunci dari air limbah, kemudian dihitung nilai efisiensinya. Nilai efisiensi penurunan polutan atau bahan pencemar pada air limbah dilakukan dengan menghitung persentase pengurangan konsentrasi parameter air limbah dengan menggunakan persamaan (5) (Novita et al. 2018):

$$Eff = \frac{Co - Ci}{Ci} \times 100\% \quad (5)$$

Eff: Persentase efisiensi penurunan (%)

Co: Konsentrasi awal parameter air limbah (mg L^{-1})

Ci : Konsentrasi akhir parameter air limbah (mg L^{-1})

Data nilai penurunan parameter pencemar air limbah dari Laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian (FTP) Universitas Jember, akan dibandingkan pada masing-masing perlakuan dengan uji anova *oneway* menggunakan *software* SPSS 25,0. Hasil perbandingan tersebut digunakan sebagai informasi perbedaan kemampuan tanaman eceng gondok dan lembang dalam penanganan air limbah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik awal limbah

Karakteristik awal air limbah Laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian UNEJ disajikan dalam Tabel 1. Nilai BOD dan COD air limbah tersebut belum melebihi nilai baku mutu yang ditentukan oleh Permen Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Adapun nilai pH

Tabel 1. Karakteristik awal air limbah laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian UNEJ Jember

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu*
BOD	mg L^{-1}	84,18	150
COD	mg L^{-1}	251,6	300
pH	–	4,28	6–9
TDS	mg L^{-1}	6,907	4000
TSS	mg L^{-1}	235	400
Cr Total	mg L^{-1} Cr	<0,0168	1

*Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

berdasarkan hasil uji bernilai 4,28 sehingga bersifat asam dan tidak memenuhi baku mutu yang berlaku. Air limbah yang asam bersifat korosif, dan jika langsung dibuang ke lingkungan dapat merusak material dan mengganggu mikroorganisme (Nurhayati et al. 2018).

Nilai TSS air limbah sudah memenuhi baku mutu, akan tetapi kadar TDS air limbah laboratorium bernilai tinggi dan melebihi dari baku mutu. Tingginya TDS dipengaruhi oleh pH air limbah. Pada pH dengan nilai rendah maka ion-ion logam cenderung larut dalam air sehingga kadar TDS menjadi tinggi (Nurhayati et al. 2018). Kadar Cr awal pada air limbah laboratorium tidak melebihi baku mutu. Hal ini disebabkan tidak adanya praktikum dan penelitian yang banyak menggunakan kromium dan terbuang sebagai limbah.

Parameter akhir proses *pre-treatment*

Hasil penanganan *pre-treatment* air limbah laboratorium dengan cara fisika dan kimia menggunakan karbon aktif, pasir silika, dan zeolit mampu menurunkan polutan. Kemampuan media tersebut dalam menurunkan parameter pencemar limbah dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, proses *pre-treatment* dengan metode fisika dan kimia, dapat menurunkan nilai beberapa parameter seperti TDS dan TSS. Pada penanganan ini parameter TDS dan TSS memiliki nilai efisiensi sebesar 38% dan 57%. Untuk Nilai pH pada perlakuan *pre-treatment* mengalami kenaikan sehingga didapatkan nilai efisiensi sebesar –10%. Nilai efisiensi (–) berarti nilai parameter air limbah lebih besar atau mengalami kenaikan setelah dilakukan penanganan. Dalam penelitian ini media

filtrasi dan adsorpsi yang digunakan berupa pasir silika, karbon aktif, dan zeolit yang berfungsi untuk menyerap dan mengendapkan partikel berukuran besar dan kecil. Karbon aktif memiliki jaringan *porous* (berlubang) yang sangat luas untuk menerima molekul pengotor baik besar maupun kecil. Permukaan karbon aktif mampu menarik molekul organik yang ada pada limbah atau yang biasa disebut dengan jerapan (Setyobudiarso dan Yuwono 2014). Nilai pH pada penanganan ini mengalami peningkatan dari 4,28 menjadi 4,7. Merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Darmayanti et al. (2011), karbon aktif mengandung mineral seperti unsur alkali tanah (N_2O , K_2O , $CaOH$) yang ikut larut dalam hasil saringan dan membentuk basa kuat. Adapun aplikasi zeolit juga dapat meningkatkan nilai pH. Hal ini disebabkan oleh adanya penangkapan dan penyerapan bahan organik dan anorganik melalui permukaan zeolit yang membuat kondisi air limbah menjadi alkalin (Sumarli et al. 2016). Selain itu proses ini dilakukan dengan menggunakan aliran dari atas ke bawah, sehingga penyaringan dan pengendapan lebih maksimal (Rais et al. 2017). Pada tahapan ini parameter yang diuji hanya terbatas pada TDS, TSS, dan pH. Penanganan dengan metode fisika dan kimia sebagai *pre-treatment* fokus pada pengurangan polutan pada air limbah seperti partikel berukuran besar dan kecil. Berdasarkan fungsinya, filtrasi dan adsorpsi belum optimal. Oleh karena itu perlu dilakukan penanganan lebih lanjut secara biologi dengan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang.

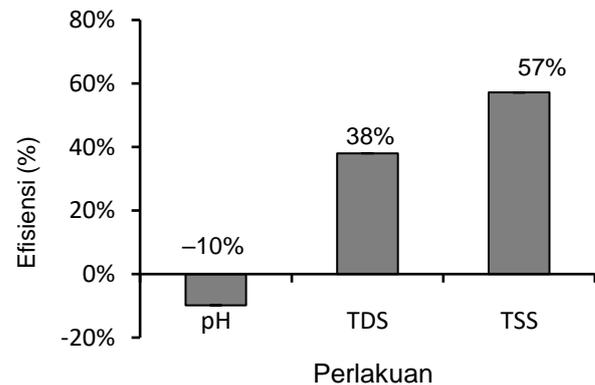
Peubahan morfologi tanaman

Dampak fitoremediasi beragam pada tumbuhan eceng gondok dan lembang. Perlakuan menggunakan tanaman lembang mampu bertahan lebih lama dibandingkan dengan tanaman eceng gondok. Pada hari ke-9 daun tanaman eceng gondok mulai mengering serta kecokelatan dan pertumbuhannya melambat. Sementara pada tanaman lembang, daunnya mulai berwarna coklat pada hari ke-11 yang ditandai dengan pertumbuhan melambat. Adapun faktor lingkungan berupa suhu udara dan kelembaban rata-rata diduga berpengaruh pada kinerja tanaman dalam reduksi tanaman

Tabel 2. Hasil analisis air limbah laboratorium pada *pre-treatment*

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu*
pH	-	4,7	6–9
TDS	mg L ⁻¹	2334	4000
TSS	mg L ⁻¹	100,67	400

*Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang Air Limbah



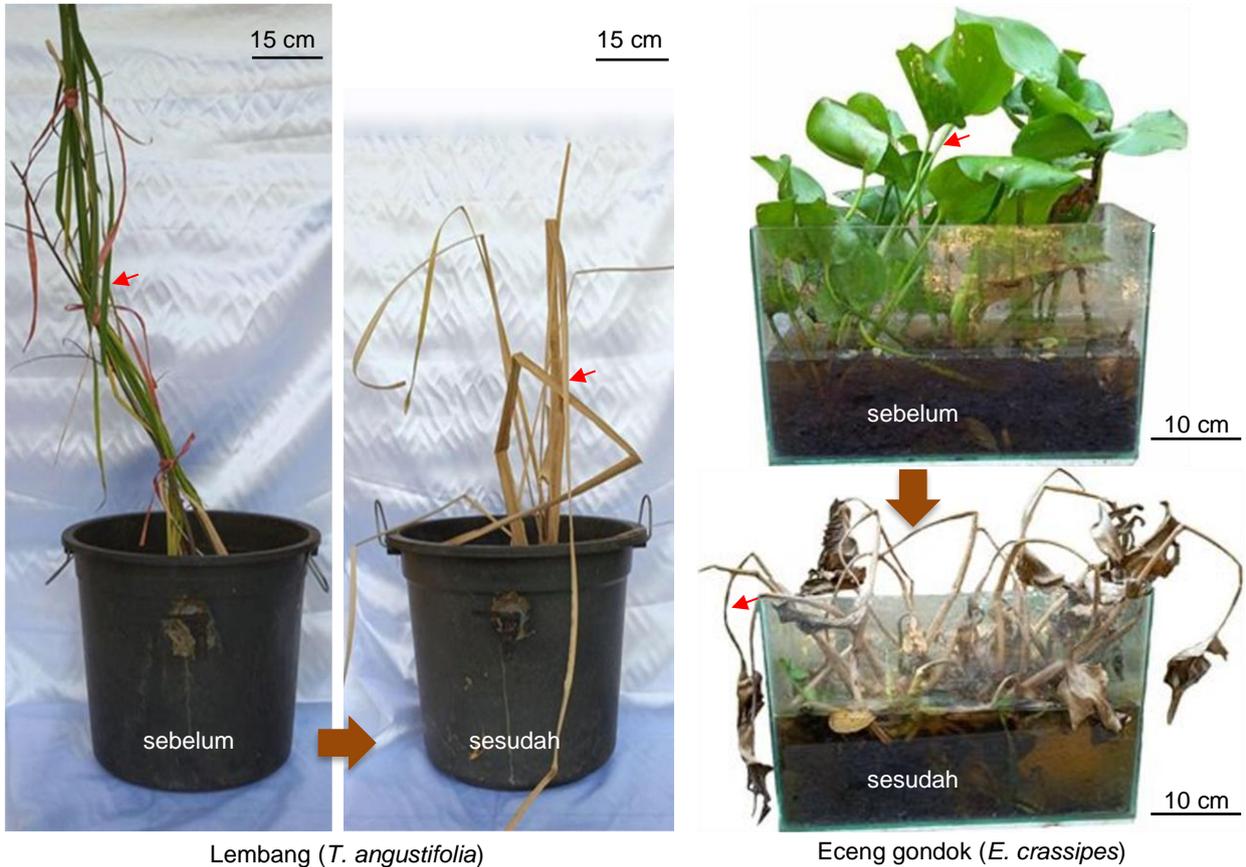
Gambar 2. Efisiensi penanganan *pre-treatment*

berupa evapotranspirasi. Rata-rata suhu dan kelembaban udara yaitu 30°C dan 69,5%.

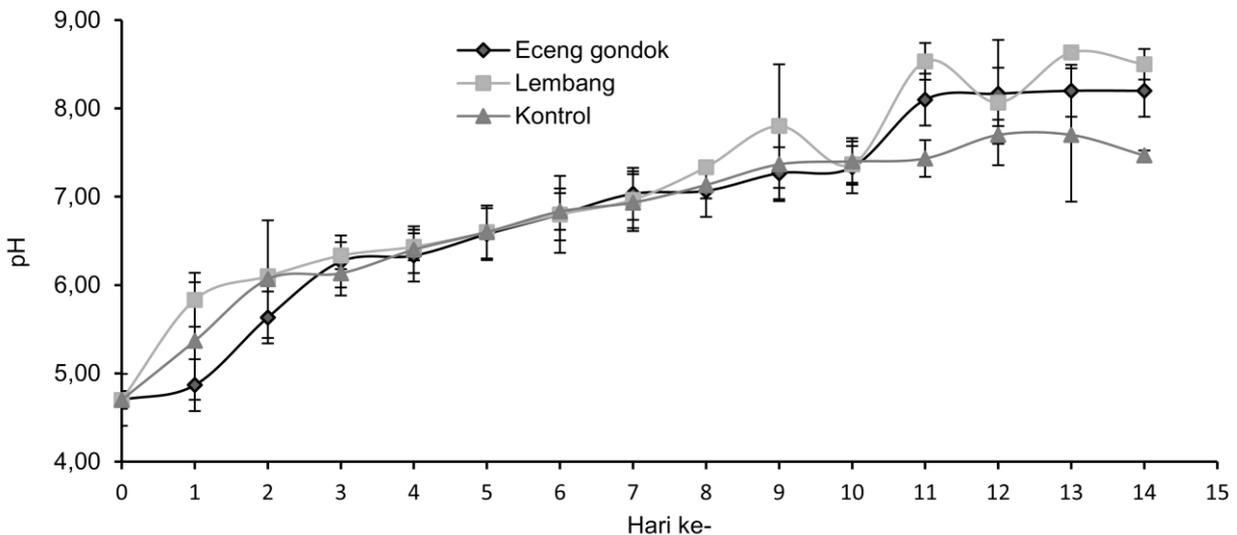
Kondisi tanaman eceng gondok yang selama fitoremediasi tidak dapat berkembang dengan baik dapat dilihat pada Gambar 3. Warna daun tanaman eceng gondok berubah menjadi coklat dan membusuk, serta akar tanaman tidak bertambah panjang. Pada ketiga ulangan yang digunakan dalam fitoremediasi air limbah tanaman eceng gondok mati pada hari ke-14. Hal ini dikarenakan sistem kerja pada fitoremediasi tersebut menggunakan sistem *batch*, sehingga ketersediaan bahan organik terbatas untuk proses pertumbuhannya. Di sisi lain kandungan logam berat tidak bisa terserap secara optimal oleh eceng gondok, sehingga terakumulasi di dalam reaktor dan menyebabkan kondisi limbah menjadi semakin toksik. Selain itu tanaman eceng gondok yang digunakan sudah masuk fase generatif sehingga daya serap polutan pada tanaman eceng gondok berkurang (Nursari et al. 2019). Berbeda dengan tanaman lembang yang mampu bertahan lebih lama terhadap air limbah laboratorium. Pada hari ke-14 sebagian tanaman lembang masih ada yang hidup dengan daun berwarna hijau dan kuning. Tanaman lembang memiliki akar berupa *rhizome* yang kuat, sehingga mampu

bertahan hidup lebih lama. Tanaman lembang termasuk jenis tanaman mencuat di permukaan air (*emergent*) dan akarnya tenggelam (*amphibious*) sehingga memiliki peluang lebih tinggi dalam mengakumulasi logam berat, sedangkan tanaman eceng gondok termasuk jenis tanaman mengambang (*floating*) (Rondonuwu 2014).

Daun yang berwarna kuning dan sebagian berwarna coklat selama proses fitoremediasi, diasumsikan tanaman lembang kekurangan nutrisi selama proses pertumbuhannya, mengingat tidak terdapat penggantian dan penambahan limbah karena menggunakan sistem *batch*. Dengan tidak adanya penambahan air limbah maka kandungan



Gambar 3. Peubahan morfologi tanaman lembang dan eceng gondok sebelum dan sesudah digunakan pada fitoremediasi air limbah laboratorium



Gambar 4. Grafik peubahan nilai pH

bahan organik dan unsur hara dalam air limbah diprediksikan tidak memenuhi syarat untuk pertumbuhan tanaman. Maka dari itu daun tanaman lembang pada hari ke-14 sebagian ada yang berwarna cokelat karena tidak mendapatkan nutrisi.

Selain sistem *batch* yang menyebabkan tanaman eceng gondok dan lembang mati, adanya evaporasi dan evapotranspirasi terhadap air limbah menyebabkan air limbah pada reaktor berkurang. Pada penelitian ini tanaman air yang digunakan tergolong banyak yaitu dengan berat masing-masing 400 g dalam 10 L air limbah. Semakin banyak tanaman dalam suatu area maka kebutuhan air juga akan meningkat dan evapotranspirasi berlangsung sangat cepat (Suharto et al. 2011). Penelitian ini menggunakan sistem *batch* sehingga tidak terjadi penambahan air limbah pada masing-masing reaktor. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban juga berpengaruh pada proses evaporasi air limbah. Kandungan bahan organik yang diserap oleh tanaman akan diubah menjadi senyawa volatil dan kemudian ditranspirasi. Jika kandungan bahan organik pada air limbah sudah habis maka tanaman air tidak mendapatkan nutrisi untuk pertumbuhannya. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman menjadi layu dan mati.

Derajat keasaman (pH)

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh satuan larutan (Zulius 2017; Mukaromah 2019). Hasil pengukuran pH pada limbah laboratorium yang telah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang selama 14 hari disajikan pada Gambar 4.

Pada hari ke-1 hingga hari ke-14 terjadi kenaikan nilai pH. Hasil kenaikan nilai pH pada semua perlakuan tidak terlalu signifikan. Nilai akhir pH pada perlakuan E sebesar 8,20; pada perlakuan T sebesar 8,50; dan pada perlakuan K sebesar 7,47. Kenaikan nilai pH disebabkan oleh berkurangnya kadar bahan organik pada air limbah laboratorium akibat degradasi bahan organik. Bertambahnya suplai oksigen pada limbah mempercepat degradasi, sehingga mengurangi jumlah gas CO₂ yang menyebabkan asam karbonat yang berasal dari proses pendifusian CO₂ dengan

Tabel 3. Perubahan nilai COD

Perlakuan	Nilai Awal (mg L ⁻¹)	Nilai Akhir (mg L ⁻¹)	Efisiensi (%)
Eceng gondok	251,6	115,00	54
Lembang	251,6	90	64
Kontrol	251,6	148,67	41

air berkurang. Fenomena tersebut mengakibatkan peningkatan nilai pH (Nasrullah et al. 2017). Disisi lain, kenaikan nilai pH pada air limbah juga disebabkan adanya aerator. Hal ini disebabkan oleh adanya injeksi udara dari aerator yang mengakibatkan naiknya kandungan oksigen terlarut pada air limbah (Hidayah et al. 2018).

Banyaknya kandungan oksigen di dalam air limbah membuat kadar CO₂ berkurang sehingga mampu menaikkan nilai pH. Maka dari itu pada perlakuan kontrol dengan menggunakan aerator nilai pH mengalami kenaikan. Kenaikan nilai pH dari ketiga perlakuan berdasarkan uji statistik *analysis of varians*, diketahui bahwa nilai F hitung 0,021 < F tabel 3,467 dengan α 5%, maka Ho diterima atau rata-rata kenaikan nilai pH pada semua perlakuan limbah tidak berbeda nyata.

Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu keadaan transparansi suatu zat cair berkurang akibat kehadiran zat-zat lainnya. Hasil pengukuran kekeruhan pada limbah laboratorium yang telah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang disajikan pada Gambar 5.

Perlakuan kontrol, eceng gondok, dan lembang memiliki nilai efisiensi secara berurutan yaitu 48%, 55%, dan 92%. Penurunan kekeruhan pada semua perlakuan terjadi secara signifikan. Penurunan nilai kekeruhan tersebut disebabkan oleh kemampuan akar dari kedua tanaman tersebut yang menyerap bahan pencemar yang terdapat baik pada badan air maupun pada sedimen. Polutan tersebut diakumulasikan menjadi bahan terlarut ke bagian tanaman akumulator, sehingga padatan tersuspensi pada limbah berkurang (Santoso et al. 2014). Semakin turun total padatan tersuspensi maka semakin turun pula nilai kekeruhannya. Penurunan nilai kekeruhan juga disebabkan oleh adanya aerator. Aerasi menyebabkan suplai udara

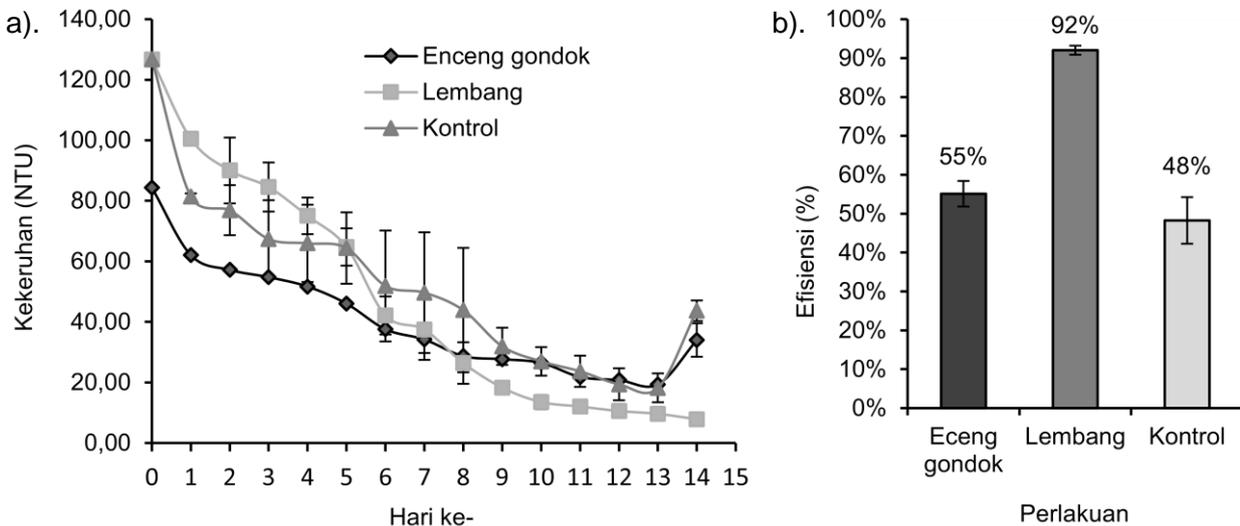
dari aerator yang terus-menerus mampu melarutkan atau memperkecil ukuran bahan organik yang terdapat pada limbah tersebut (Safrizal 2016). Penurunan nilai kekeruhan pada ketiga perlakuan dilakukan uji statistik *analysis of varians* dengan α 5%. Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa nilai F hitung $0,185 < F$ tabel 3,467 maka H_0 diterima atau rata-rata penurunan nilai kekeruhan pada semua perlakuan tidak berbeda nyata.

Total Suspended Solid (TSS)

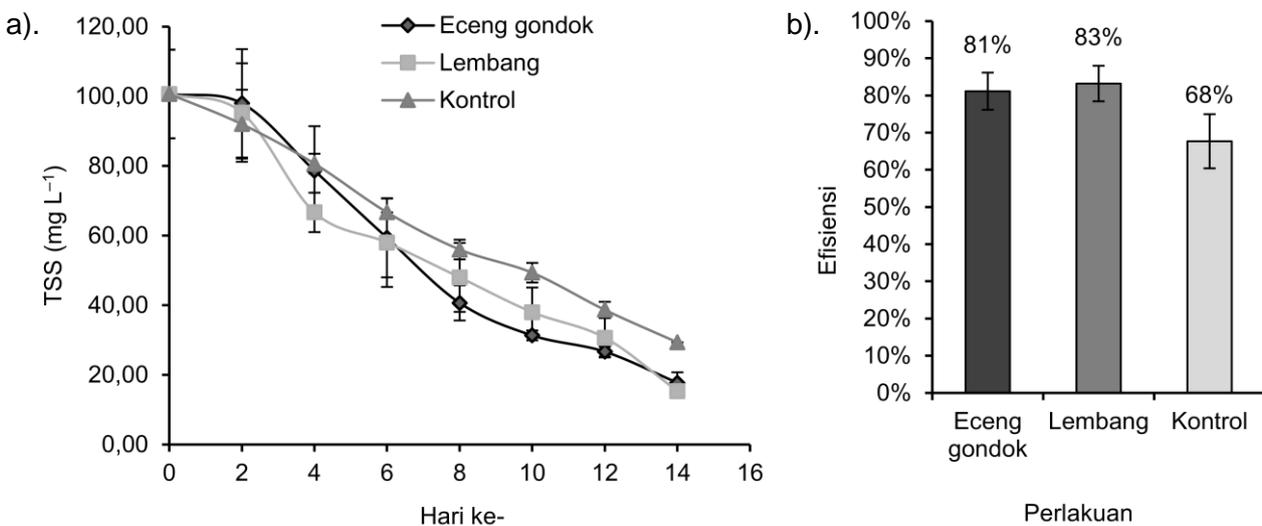
Padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap serta terdiri dari partikel yang ukurannya maupun beratnya lebih kecil dari sedimen (Kristanto 2002). Hasil pengukuran nilai TSS pada limbah laboratorium yang telah melalui

fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang disajikan pada Gambar 6.

Nilai TSS mengalami penurunan yang tidak signifikan pada ketiga perlakuan selama fitoremediasi. Perlakuan E dan T memiliki nilai efisiensi lebih besar secara berurutan yaitu 81% dan 83%, sedangkan nilai efisiensi penurunan air limbah perlakuan K sebesar 68%. Pada perlakuan E dan T yang menggunakan tanaman akumulator yang berakar serabut, akan mempunyai kemampuan untuk menyerap partikel koloid yang melayang pada air limbah melalui akar tersebut. Pada akar kedua tanaman akan terjadi filtrasi atau fungsi rhizofiltrasi. Pada tahapan tersebut akar tanaman dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat pada air limbah (Nasrullah et al. 2017). Sejalan dengan penelitian yang dilakukan



Gambar 5. Grafik peubahan nilai kekeruhan (a) dan diagram efisiensi penurunan nilai kekeruhan (b)



Gambar 6. Grafik penurunan nilai TSS secara *time series* (a) dan nilai efisiensi penurunan TSS (b)

oleh Abdulgani et al. (2014), tanaman lembang mampu menurunkan nilai TSS air limbah industri kerupuk dengan lama waktu tinggal 5, 10, dan 15 hari yaitu sebesar 73,78%, 77,18%, dan 84,71%. Adapun kemampuan eceng gondok dalam menurunkan nilai TSS air limbah domestik sebesar 89,9% (Sitompul et al. 2013). Penurunan nilai TSS dari ketiga perlakuan berdasarkan uji statistik *analysis of varians* disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan karena H_0 diterima. Asumsi ini didukung dari hasil nilai F hitung sebesar 0,175 lebih besar daripada nilai F tabel sebesar 3,46 dengan α 0,05.

Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan seluruh bahan organik yang terkandung di dalam air secara kimia (Atima 2015). Hasil pengukuran nilai efisiensi penurunan COD pada limbah laboratorium yang telah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang disajikan dalam Tabel 3.

Terdapat perubahan yang signifikan pada ketiga perlakuan limbah terhadap nilai COD. Ketiga perlakuan limbah mengalami penurunan, sehingga didapat nilai efisiensi pada setiap perlakuan. Perlakuan T memiliki nilai efisiensi sebesar 64%, pada perlakuan E sebesar 54%, dan pada perlakuan K sebesar 41%. Tumbuhan dapat menyerap pencemar sejauh akar tanaman tersebut tumbuh dan bersimbiosis dengan mikroorganisme. Simbiosis mikroorganisme pada tanaman air efektif dalam menurunkan nilai COD. Mikroorganisme yang tumbuh pada akar tanaman air semakin efektif dalam menurunkan nilai COD karena jumlah mikroorganisme semakin banyak dan mikroorganisme tersebut semakin mampu beradaptasi dengan lingkungan tersebut (Djo et al. 2017). Dari hasil uji (Tabel 3) tampak bahwa tanaman lembang mempunyai kemampuan yang lebih tinggi daripada eceng gondok dalam menurunkan nilai COD. Merujuk pada Abdulgani et al. (2014), kemampuan tanaman lembang lebih efektif dalam menurunkan kadar COD dibandingkan tanaman yang telah umum digunakan dalam sistem *wetlands*. Pada penelitian tersebut lembang dapat menurunkan COD air limbah domestik pada waktu tinggal selama 5, 10, dan 15 hari secara berurutan sebesar 86,94%, 90,5%, dan 94,87% dengan nilai

Tabel 4. Nilai efisiensi penurunan BOD

Perlakuan	Nilai Awal (mg L ⁻¹)	Nilai Akhir (mg L ⁻¹)	Efisiensi (%)
Eceng gondok	84,18	30,62	64
Lembang	84,18	21,63	74
Kontrol	84,18	62,22	26

COD awal 3.544,42 mg L⁻¹ menjadi 181,88 mg L⁻¹ pada hari ke-15. Batang, cabang, dan daun tumbuhan air yang berada di dalam genangan air akan memperluas area mikroorganisme melekat (Abdulgani et al. 2014; Astuti dan Indriatmoko 2018). Di bawah permukaan substrat pasir dan kerikil yang tergenang, akar tumbuhan mengeluarkan oksigen sehingga akan terbentuk zona akar dan zona oksigen. Kondisi tersebut memudahkan terjadinya penyerapan nitrogen dan unsur pencemar untuk pertumbuhan tumbuhan. Selain itu penurunan nilai COD juga disebabkan karena adanya aerasi pada masing-masing perlakuan. Pada aerasi terjadi penambahan oksigen terlarut dalam limbah. Teknik tersebut memenuhi kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme pengurai yang ada dalam air limbah dan kebutuhan oksigen untuk oksidasi bahan-bahan kimia yang ada di dalam air limbah (Hidayah et al. 2018).

Penurunan nilai COD pada ketiga perlakuan limbah dilakukan uji statistik *analysis of varians* dengan α 5%. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa nilai F hitung 208,937 > F tabel 5,143 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima atau rata-rata penurunan nilai COD pada semua perlakuan limbah berbeda nyata.

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan yang mudah terurai di dalam air (Kristanto 2002). Hasil pengukuran efisiensi nilai BOD pada limbah laboratorium yang telah melalui fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lembang disajikan dalam Tabel 4.

Terdapat perubahan yang signifikan pada ketiga perlakuan limbah terhadap nilai BOD. Nilai efisiensi penurunan pada perlakuan E sebesar 64%, pada perlakuan T sebesar 74%, dan pada perlakuan kontrol sebesar 26%. Perlakuan T memiliki nilai

Tabel 5. Nilai efisiensi penurunan Cr

Perlakuan	Nilai Awal (mg L ⁻¹)	Nilai Akhir (mg L ⁻¹)	Efisiensi (%)
Eceng gondok	<0,0168	0,0117	31
Lembang	<0,0168	0,0085	49
Kontrol	<0,0168	0,0163	3

efisiensi penurunan BOD paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan E dan K. Lembang memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan nilai BOD pada air limbah. Merujuk dari Nasrullah et al. (2017), penurunan bahan organik dalam sistem *wetlands* terjadi karena adanya mekanisme aktivitas simbiosis tanaman dan mikroorganisme dalam degradasi polutan. Sejalan dengan hal tersebut Suhardjo (2008) menyebutkan bahwa tanaman lebang pada proses *wetlands* lebih optimal menurunkan nilai BOD yaitu sebesar 90%. Permukaan akar tanaman di dalam lahan basah buatan merupakan habitat bakteri dalam mendegradasi senyawa organik dibantu oleh tanaman lebang secara aerob. Zona aerob yang luas pada sistem perakaran mendorong peningkatan proses degradasi senyawa organik secara aerob (Wimbaningrum et al. 2020). Degradasi tersebut menyebabkan penurunan kadar senyawa organik air limbah laboratorium.

Senyawa organik yang menurun menyebabkan penggunaan oksigen terlarut juga berkurang sehingga kadar BOD air limbah laboratorium mengalami penurunan. Penurunan nilai BOD pada ketiga perlakuan dilakukan uji statistik *analysis of varians* dengan α 5%, menunjukkan bahwa nilai F hitung 12,042 > F tabel 5,143 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata penurunan nilai BOD pada ketiga perlakuan limbah berbeda nyata.

Kromium (Cr)

Hasil pengukuran efisiensi nilai Cr pada air limbah laboratorium yang telah melalui tahapan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lebang disajikan dalam Tabel 5. Pengujian konsentrasi awal Cr adalah sebesar < 0,0168 mg L⁻¹. Nilai Cr air limbah laboratorium pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan yang signifikan. Nilai efisiensi penurunan pada perlakuan E, T, dan K secara berurutan yaitu 31%, 49%, dan 3%.

Nilai efisiensi penurunan logam berat Cr pada perlakuan menggunakan kedua tanaman lebih besar dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Kedua tanaman tersebut memiliki volume perakaran yang banyak dan akar yang panjang, sehingga akar tanaman tersebut menyebar ke seluruh bagian air limbah yang telah terkontaminasi logam Cr (Hidayati 2005; Putri et al. 2014). Menurut Irhamni et al. (2018), penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Logam dibawa ke daerah sekitar akar (*rhizosfer*). Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut *xylem* dan *floem* ke bagian lain tumbuhan tersebut. Upaya meningkatkan efisiensi pengangkutan ditempuh dengan pengikatan logam oleh molekul kelat. Berbagai jenis molekul kelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan seperti *histidin* yang dapat mengikat Cr. Hal ini didukung berdasarkan penjelasan oleh Irhamni et al. (2018), yang menyebutkan bahwa tumbuhan air yang dapat dijadikan tumbuhan akumulator dalam menyerap logam Cr adalah tanaman lebang dan eceng gondok. Penurunan nilai Cr pada ketiga perlakuan dilakukan uji statistik *analysis of varians* dengan α 5%, diketahui bahwa nilai F hitung 2723,467 > F tabel 5,143 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata penurunan nilai Cr pada semua perlakuan limbah berbeda nyata.

Berdasarkan hasil uji statistik berupa *analysis of varians* pada perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lebang berpengaruh terhadap parameter air limbah laboratorium. Perbedaan nyata dari pengaruh perlakuan fitoremediasi terdapat pada parameter air limbah berupa COD, BOD, dan Cr. Adapun pengaruh perlakuan fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok dan lebang tidak berbeda nyata terhadap parameter kekeruhan, pH, TSS, dan TDS.

KESIMPULAN

Berdasarkan proses fitoremediasi dengan aerasi pada ketiga perlakuan dapat

menurunkan nilai kekeruhan, TSS, COD, BOD, dan Cr serta meningkatkan nilai pH. Penurunan parameter kekeruhan, TSS, COD, BOD, dan Cr dari hasil analisis pada perlakuan menggunakan tanaman lembang lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan eceng gondok secara berurutan sebesar 92%, 83%, 64%, 74%, dan 49%. Dari hasil uji statistik dengan nilai α 5% untuk parameter COD, BOD, dan Cr pada ketiga perlakuan pada air limbah berbeda nyata, sedangkan pada parameter kekeruhan, TSS, dan pH tidak berbeda nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada IsDB sebagai pemberi dana penelitian ini dalam program Penelitian Pendukung IsDB Batch II tahun 2019, Universitas Jember dan pihak-pihak yang terlibat yang memberikan fasilitas dan bantuan untuk penyelesaian penelitian terkait pengolahan air limbah laboratorium di lingkungan Universitas Jember. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada para Mitra Bestari yang telah menelaah hasil penelitian dari penulis sehingga artikel ini semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulgani H, Izzati M, Sudarno S (2014) Kemampuan tumbuhan *Typha angustifolia* dalam sistem *subsurface flow constructed wetland* untuk pengolahan limbah cair industri kerupuk (Studi kasus limbah cair sentra industri kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat). *Bioma* 16:90–101. doi: 10.14710/bioma.16.2.90-101

Astuti LP, Indriatmoko (2018) Kemampuan beberapa tumbuhan air dalam menurunkan pencemaran bahan organik dan fosfat untuk memperbaiki kualitas air. *J Teknol Lingkung* 19:183–190. doi: 10.29122/jtl.v19i2.2063

Atima W (2015) BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *J Biol Sci Educ* 4:83–93. doi: 10.33477/bs.v4i1.532

Atmono, Natalina, Mukti AD (2017) Pengaruh arang aktif dan zeolit sebagai media adsorben dalam penurunan kadar logam

krom pada air limbah cair penyablonan pakaian. *J Rekayasa Teknol Sains* 1:21–27. doi: 10.33024/jrets.v1i1.982

Audiana M, Apriani I, Kadaria U (2017) Pengolahan limbah cair laboratorium teknik lingkungan dengan koagulasi dan adsorpsi untuk menurunkan COD, Fe, dan Pb. *J Teknol Lingkung Lahan Basah* 5:1–10. doi: 10.26418/jtlb.v5i1.18012

Bais SS, Lawrence K, Pandey AK (2016) Phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Int J Environ Agric Biotechnol (IJEAB)* 1:210–217. doi: 10.22161/ijeab/1.2.16

Bareen F dan Khilji S (2008) Bioaccumulation of metals from tannery sludge by *Typha angustifolia* L. *Afr J Biotechnol* 7:3314–3320. doi: 10.5897/AJB08.220

Christiany A, Suprihatin, Indrasti NS (2018) Potensi teknis - ekonomis daur ulang efluen air limbah industri tekstil menggunakan aplikasi arang aktif. *J Pengelolaan Sumberd Alam Lingkung* 9:229–240. doi: 10.29244/jpsl.9.2.229-240

Crini G, Lichtfouse E (2019) Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environ Chem Lett* 17:145–155. doi: 10.1007/s10311-018-0785-9

Darmayanti L, Handayani YL, Josua MTS (2011) Pengaruh penambahan media pada sumur resapan dalam memperbaiki kualitas air limbah rumah tangga. *J Sains Teknol* 10:61–66. ISSN 2548-8570

Daulay AH, Manalu K, Masthura (2019) Pengaruh kombinasi media filter karbon aktif dengan zeolit dalam menurunkan kadar logam air sumur. *J Islamic Sci Technol* 4:91–96. doi: 10.30929/jt.v4i2.6543

De Anda J, Lopez-Lopez A, Villages-Garcia E, Valdivia-Avina K (2018) High-strength domestic wastewater treatment and reuse with onsite passive methods. *Water* 10:99. doi: 10.3390/w10020099

Djo YHW, Suastuti DA, Suprihatin IE, Sulihingtyas WD (2017) Fitoremediasi limbah cair UPT laboratorium analitik Universitas Udayana menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) ditinjau dari penurunan nilai COD dan kandungan logam berat Cu dan Cr. *Jurnal Media Sains* 1:63–70. doi:

- 10.36002/jms%203.v1i2.263
- Elystia S, Sasmita A, Purwanti (2014) Pengolahan kandungan COD limbah cair pabrik kelapa sawit oleh *Typha latifolia* dengan metode fitoremediasi. Dampak J Teknik Lingkung Unand 11:88–95. doi: 10.25077/dampak.11.2.88-95.2014
- Emelda L, Putri SM, Ginting S (2013) Pemanfaatan zeolit alam teraktivasi untuk adsorpsi logam Cr³⁺. J Rekayasa Kim Lingkung 9:166–172. doi: 10.23955/rkl.v9i4.1229
- Hidayah EN, Djalalembah A, Asmar GA, Cahyonugroho OH (2018) Pengaruh aerasi dalam *constructed wetland* pada pengolahan air limbah domestik. J Ilmu Lingkung 16:155–161. doi: 10.14710/jil.16.2.155-161
- Hidayati N (2005) Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. Hayati 12:35–40. doi: 10.1016/S1978-3019(16)30321-7
- Irhamni, Pandia S, Purba E, Hasan W (2018) Analisis limbah tumbuhan fitoremediasi (*Typha latifolia*, eceng gondok, kiambang) dalam menyerap logam berat. Serambi Engineering 3:344–351. doi: 10.32672/jse.v3i2.439
- Jaiyeola AT, Bwapwa JK (2016) Treatment technology for brewery wastewater in a water-scarce country: A review. S Afr J Sci 112:2015–0069. doi: 10.17159/sajs.2016/20150069
- Kristanto P (2002) Ekologi Industri. ISBN: 978-979-29-3425-0. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Manasika AP (2015) Analisis pengaruh variasi densitas eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) solm) pada fitoremediasi limbah cair kopi. Skripsi, Universitas Jember
- Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2014) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta
- Mukaromah U (2019) Penanganan limbah cair pengolahan kedelai edamame (*Glycine max*) menggunakan fitoremediasi eceng gondok. Skripsi, Universitas Jember
- Nasrullah S, Hayati R, Kadaria U (2017) Pengolahan limbah karet dengan fitoremediasi menggunakan tanaman *Typha angustifolia*. J Teknol Lahan Basah 5:1–10. doi: 10.26418/jtllb.v5i1.18546
- Novita E, Hermawan AAG, Wahyuningsih S (2019b) Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air. J Agroteknol 13:16–24. doi: 10.19184/j-agt.v13i01.8000
- Novita E, Pradana HA, Wahyuningsih S, Hartiningsih ES (2019a) Characterization of laboratory wastewater for wastewater treatment plants used environmental biotechnology. International Conference on Sustainability Science and Management, 14–15 November 2019, Denpasar, Bali
- Novita E, Wahyuningsih S, Pradana HA (2018) Variasi komposisi input proses anaerobik untuk produksi biogas pada penanganan limbah cair kopi. J Agroteknol 12:43–57. doi: 10.19184/j-agt.v12i1.7887
- Nurhayati I, Sugito S, Pertiwi A (2018) Pengolahan limbah cair laboratorium dengan adsorpsi dan pretreatment netralisasi dan koagulasi. J Sains Teknol Lingkung 10:125–138. doi: 10.20885/jstl.vol10.iss2.art5
- Nursari I, Jafar N, Yusuf FN, Said MS (2019) Analisis pengaruh fase tumbuh tanaman eceng gondok terhadap kemampuan fitoremediasi Cr⁶⁺ pada limbah cair pertambangan nikel. J Geomine 7:23–29. doi: 10.33536/jg.v7i1.337
- Putri YD, Holik HA, Musfiroh I, Aryanti AD (2014) Pemanfaatan tanaman eceng-ecengan (Ponteridaceae) sebagai agen fitoremediasi dalam pengolahan limbah krom. Indones J Pharm Sci Technol 1:20–25. doi: 10.15416/ijpst.v1i1.7510
- Rais A, Fitrianiingsih Y, Ruliansyah A (2017) Rancangan bangun alat pengolahan air gambut dengan sistem filtrasi untuk budidaya perikanan. J Teknol Lingkung Lahan Basah 5:1–10. doi: 10.26418/jtllb.v5i1.18354
- Rondonuwu SB (2014) Fitoremediasi limbah merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. J Ilm Sains 14:52–59. doi: 10.35799/jis.14.1.2014.4951
- Safarrida A, Ngadiman, Widada J (2015) Fitoremediasi kandungan kromium pada

- limbah cair menggunakan tanaman air. *J Bioteknologi Biosains Indones* 2:55–59. doi: 10.29122/jbbi.v2i2.509
- Safrizal MR (2016) Pengaruh biomassa eceng gondok dan aerasi terhadap penurunan konsentrasi limbah cair pengolahan kopi. Skripsi, Universitas Jember
- Saha P, Shinde O, Sarkar S (2017) Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *Int J Phytoremediation* 19:87–96. doi: 10.1080/15226514.2016.1216078
- Santoso U, Mahreda ES, Shadiq F, Biyatmoko D (2014) Pengolahan limbah cair sasirangan melalui kombinasi metode filtrasi dan fitoremediasi sistem lahan basah buatan menggunakan tumbuhan air yang berbeda. *EnviroScientiae* 10:157–170. doi: 10.20527/es.v10i3.1978
- Setyobudiarso H, Yuwono E (2014) Rancang bangun alat penjernih air limbah cair laundry dengan menggunakan media penyaring kombinasi pasir – arang aktif. *J Neutrino* 6:84–90. doi: 10.18860/neu.v0i0.2587
- Sitompul DF, Sutisna M, Pharmawati K (2013) Pengolahan limbah cair Hotel Aston Braga City Walk dengan proses fitoremediasi menggunakan tumbuhan eceng gondok. *J Reka Lingkungan* 1:105–114. doi: 10.26760/rekalingkungan.v1i2.105-114
- Suhardjo D (2008) Penurunan COD, TSS, dan total fosfat pada *septic tank* limbah Mataram Citra Sembada Catering dengan menggunakan *wastewater garden*. *J Mns Lingkung* 15:79–89. doi: 10.22146/jml.18681
- Suharto B, Susanawati LD, Wilistien BI (2011) Penurunan kandungan logam Pb dan Cr *leachate* melalui fitoremediasi bambu air (*Equisetum hyemale*) dan zeolit. *Agrointek* 5:133–143. doi: 10.21107/agrointek.v5i2.1946
- Sulistiyanti D, Antoniker, Nasrokhah (2018) Penerapan metode filtrasi dan adsorpsi dalam pengolahan limbah laboratorium. *EduChemia* 3:147–156. doi: 10.30870/educhemia.v3i2.2430
- Sumarli, Yulianti I, Masturi, Munawaroh R (2016) Pengaruh variasi massa zeolit pada pengolahan air limbah pabrik pakan ternak melalui media filtrasi. *Pros Seminar Nas Fis 5:SNF2016-ERE*. doi: 10.21009/0305020608
- Wimbaningrum R, Arianti I, Sulistiyowati H (2020) Efektivitas tanaman lembang (*Typha angustifolia* L) di lahan basah buatan dalam penurunan kadar TSS, BOD, dan fosfat pada air limbah industri laundry. *Berk Sainstek* 8:25–28. doi: 10.19184/bst.v8i1.16499
- Zulius A (2017) Rancangan bangun monitoring pH air menggunakan soil moisture sensor di SMK 1 Tebing Tinggi Kabupaten Empat Lawang. *J Sistem Inf Ilmu Komputer* 2:37–43. doi: 10.32767/JUSIKOM.V2i1.46